

# Kemikler Üzerindeki Fiziksel Tahribatın Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) ile İncelenmesi

Aylin Yalçın Sarıbey<sup>1\*</sup> Alper Ağartancan<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Prof. Dr. | Üsküdar Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Adli Bilimler Bölümü

<sup>2</sup> Üsküdar Üniversitesi, Bağımlılık ve Adli Bilimler Enstitüsü

\* Sorumlu Yazar / Corresponding Author:

Aylin Yalçın Sarıbey

Üsküdar Üniversitesi,

Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi,

Adli Bilimler Bölümü, İstanbul / TÜRKİYE

E-posta /E- mail: [aylin.yalcinsaribey@uskudar.edu.tr](mailto:aylin.yalcinsaribey@uskudar.edu.tr)

Alındı/ Received: 30 Aralık / December 2023

Düzeltildi/ Revised: 23 Mart / March 2024

Kabul/ Accepted: 2 Nisan / April 2024

Yayımlandı/ Published: 30 Haziran / June 2024

## Öz

Adli bağlamda suçun gizlenmesi amacıyla gerçekleştirilen kundaklama, cesedin suya bırakılması veya gömülmesi gibi eylemler kemiklerde postmortem değişikliklere yol açabilmektedir. Bu konuda Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FT-IR) spektroskopisi, adli amaçlarla detaylı bir inceleme için etkili bir araç olarak değerlendirilebilir. Bu araştırmanın odak noktası, kemiklerdeki postmortem değişikliklerin, ön işleme tabi tutulmadan Zayıflatılmış Toplam Yansıma (ATR)-FT-IR spektroskopisi kullanılarak ayırt edilebilirliğini araştırmaktır. Çalışma kapsamında 14 farklı kemik numunesi çeşitli hasarlara maruz bırakılarak ATR-FT-IR spektroskopisi ile detaylı bir şekilde incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, yanmış kemik dışındaki hasarlı kemiklerin FTIR spektrumlarında ortak absorpsiyon bantlarına rastlandığını göstermiştir. Ayrıca, PCA (Temel Bileşen Analizi) kullanılarak kemiklerde meydana gelen tahribatın %93 ila %100 arasında bir ayırt edilebilirlik oranına sahip olduğu tespit edilmiştir. Araştırma sonuçları, adli bilimler alanında gerçekleştirilecek ileri çalışmalara yönlendirici ve yardımcı olabilecek nitelikte değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Adli bilimler, olay yeri, kemik, FT-IR, spektroskopik yöntemler, adli antropoloji.

## Giriş

Adli bilimler alanında kemikler önemli bir araştırma konusu olarak öne çıkmaktadır. Kemikler, olay yerinde bulunan önemli bulguların aydınlatılmasında kritik bir rol oynamaktadır. Çeşitli amaçlarla gerçekleştirilen kemik analizleri, kimlik belirleme, ölüm nedeninin belirlenmesi, ölüm zamanının tespiti gibi çeşitli bilgilere erişmeyi hedefler.

Kemik, aktif ve canlı bir organizma olarak işlev görür. Vücutta destek, hareket, koruma ve büyüme gibi dört temel faaliyeti yerine getirir. Erişkin bir insan iskeleti, toplamda 206 adet kemikten oluşur. Kemik dokusu hücresel bir yapıya sahiptir ve hücreler arası sıvısı, sertleşmiş bir çatı ile çevrilidir. İskelet sistemi, kemiklerin yanı sıra kırıkardak, ligamentler, bağ dokuları, kan damarları, lenf damarları ve sinirlerin bir araya gelmesiyle oluşur (Erol ve Aka, 2016).

Taze kemik, genel olarak %25 su, %30 organik

## Forensic Examination of Physical Damage on Bones by Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

### Abstract

In a forensic context, actions such as arson, submersion of the body in water, or burial, conducted with the intention of concealing a crime, can lead to postmortem changes in bones. In this regard, Fourier Transform Infrared (FT-IR) spectroscopy can be considered as an effective tool for detailed examination for forensic purposes. The focus of this research is to investigate the distinguishability of postmortem changes in bones using Attenuated Total Reflection (ATR)-FT-IR spectroscopy without preprocessing. Within the scope of the study, 14 different bone samples were subjected to various damages and examined in detail using ATR-FT-IR spectroscopy. The results indicated common absorbance bands in the FTIR spectra of damaged bones, excluding burned bones. Additionally, using Principal Component Analysis (PCA), it was determined that the damage occurring in bones could be distinguished with a discernibility rate ranging from 93% to 100%. The findings of the research have been evaluated as guiding and supportive for further studies in the field of forensic sciences.

**Key Words:** Forensic science, crime scene, bone, FT-IR, spectroscopic methods, forensic anthropology.

madde ve %45 inorganik maddeden oluşmaktadır. Organik matrisin büyük bir çoğunluğu, su bazlı solüsyonlarla kaynatıldığında jelatine dönüşebilen Tip I Kollajen formundadır. İnorganik matrisin büyük bir kısmı, kalsiyum ve fosfor iyonlarından oluşan hidroksiapatit kristallerini içerir. Diğer önemli iyonlar arasında magnezyum, sodyum, potasyum ve florür bulunmaktadır (İnsal ve İlksin, 2017).

Adli antropolojide dokuların, organların veya kemiklerin şeklini ve işlevini bozan çeşitli yaralanmalar “travma” olarak isimlendirilir. İnsan kemiği üzerinde gerçekleştirilen travma analizleri, adli vakaları diğer rutin durumlardan ayırmak ve muhtemel cinayet nedenlerini belirleme açısından son derece önemlidir (Çeker, 2014). Travmalar genellikle antemortem, perimortem ve postmortem olarak sınıflandırılır. Postmortem travmalar, ölümden sonraki kemikleşme sürecinde meydana gelen ve genellikle çevresel

Atf için/ Cite as:

Yalçın Sarıbey, A., ve Ağartancan, A., (2024). Kemikler üzerindeki fiziksel tahribatın fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) ile incelenmesi, *Antropoloji*, (48), 1-7

<https://doi.org/10.33613/antropolojidergisi.1410500>

faktörlerden kaynaklanan travmalardır (Çeker, 2020). Kemiklerde meydana gelen çizik, kesik veya kırık gibi hasarlar çevresel faktörlerden kaynaklı olabildiği gibi kemik bulgusunu toplayan ekiplerin araçlarından kaynaklı da olabilir. Ayrıca failer, suçlarını gizlemek amacıyla kundaklama, cesedi suya atma veya gömme gibi yöntemlere başvurduklarında, bu eylemler kemiklerde postmortem değişikliklere yol açabilmektedir. Bu durum, kriminal laboratuvarlardaki inceleme süreçlerini etkileyerek kemiklerde meydana gelen morfolojik ve yapısal değişimleri tetikleyebilir. Zayıflatılmış Toplam Yansıma (ATR)- Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FT-IR) spektroskopisi, olay yerinden elde edilen kemik dokularında meydana gelen tahribatın adli amaçlarla detaylı bir şekilde incelenmesi için etkili bir araç olarak kullanılabilir. Bu sayede kemiklerdeki postmortem değişiklikler ayrıntılı bir şekilde analiz edilebilir. Kemikler üzerindeki bu postmortem izler beden ölüm sonrası nasıl saklandığı veya hangi tür işlemlere tabi tutulduğu konusunda önemli ipuçları sunabilir.

FT-IR spektroskopisi, kimyasal bağların ve moleküler yapıların detaylı bir şekilde analiz edilmesi için kullanılan bir tekniktir. Bu analiz yöntemi, örneğin üzerinden geçirilen kızılötesi ışınımın spektral bileşenlerini belirleyerek çalışır. Elde edilen veriler, numunedeki kimyasal bileşenleri ve yapıları anlamak için kullanılır (Beşergil, 2015). FTIR spektroskopisinin adli bilimlerde kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Adli antropolojide kemik (Bayarı, 2020 ve Lopes, 2018) üzerinde yapılan çalışmalar, hayvan kemiklerinin sınıflandırılması (Wang, 2019) ve ölüm zamanının belirlenmesi (Wang, 2017) gibi çeşitli konularda kullanılmaktadır. Temel Bileşen Analizi (PCA) testi gibi kemometrik yöntemler kullanılarak FT-IR spektroskopisi ile elde edilen sonuçlar değerlendirilir. PCA, veri setindeki orijinal değişkenler arasındaki korelasyonu azaltabilen ve bilgiyi koruyabilen bir istatistiksel yöntemdir (Duda, 2001). Eş zamanlı olarak PCA, orijinal veri setindeki ana bilgileri korur. Çok değişkenli veri matrisindeki değişkenler arasındaki ilişkiyi tanımlamak ve bulguları bir grafik üzerinde göstermek amacıyla kullanılan bir yöntemdir (Demir, 2016). Bu çalışmadaki amaç, olay yerinden elde edilen kemikler üzerinde meydana gelmiş çeşitli fiziksel hasarların FT-IR spektroskopisi ile ayırt edilebilirliği üzerinde çalışmaktır.

## Gereç ve Yöntem

Çalışmada, toplamda 14 adet kuzu kaburga kemiği kullanılmıştır; bunlardan 2 tanesi kontrol grubu olarak seçilmiş ve geriye kalan 12 kemik çeşitli hasarlara maruz bırakılmıştır. Kemiklere verilen hasarlar Tablo 1’de verilmiştir. Tüm kemikler yumuşak dokularından ayrılarak Agilent Cary 630 ATR-FTIR cihazında analiz edilmiştir. ATR başlığı sayesinde yanmış kemikler haricindeki kemik numuneleri bir bütün olarak toz hale getirilmeden cihaza okutulmuştur.

Analizler için kullanılan spektral parametreler: resolasyon  $4 \text{ cm}^{-1}$ , spektral aralık  $650-4000 \text{ cm}^{-1}$ , zero filling faktörü 0, arka plan tarama 32, numune tarama 32.

Sonuçların istatistiksel olarak değerlendirilmesi amacıyla PCA testi Orange Data Mining (versiyon 3.36) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

**Tablo 1:** Çalışmada kullanılan kemik numunelerinin maruz kaldığı hasar ve süreleri.

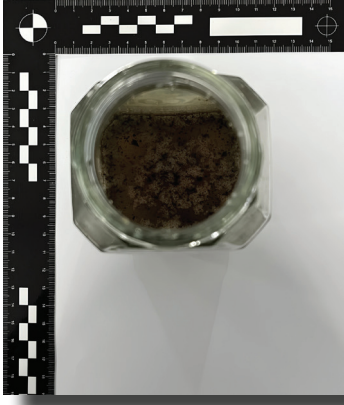
Hasar Türü	Kemik Sayısı	Süre
Yakma	2	30 dakika
Tuzlu Suda Bekletme	2	30 gün
Tatlı Suda Bekletme	2	30 gün
Toprağa Gömme	2	30 gün
%20’lik Hidroklorik Asit (HCl, Koruma Temizlik® Tuz Ruhü) Bekletme	2	5 gün
%5’lik Sodyum Hipoklorit (NaClO, Domestos®) Bekletme	2	5 gün

## Bulgular

30 dakika boyunca pürmüz kullanılarak yakılan kemik numunelerinin renginde koyulaşma gözlemlenmiştir ve aynı zamanda kemiğin, normalden daha hassas ve kırılabilir bir hal aldığı belirlenmiştir. Bu sebeple FTIR spektroskopisi cihazında analiz edilmek üzere homojenize hale getirilmiştir.

30 günlük süre boyunca tuzlu suda bekletilen kemik numunelerinin renginde belirgin bir sararma meydana geldiği görülmüştür. Bu sürecin sonunda, kemiklerde yoğun koku ve çürüme belirtileri tespit edilmiştir.

30 günlük süre boyunca tatlı suda bekletilen kemik numunelerinin renginde belirgin bir



**Şekil 1:** Hidroklorik asit (HCl) içerisinde bekletilen kemik numuneleri.

koyulaşma gözlemlenmiştir. Bu süreç sonunda, kemiklerde koku ve çürüme belirtileri tespit edilmiş olup, bu belirtilerin tuzlu suda bekletilmiş kemiklere göre daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

30 günlük süre boyunca toprağa gömülmüş kemik numunelerinin gömülü olduğu toprak yüzeyinde küflenme meydana geldiği görülmüştür.

5 günlük süre boyunca piyasada “tuz ruhu” olarak bilinen hidroklorik asit (HCl) içerisinde bekletilen kemik numuneleri, Şekil 1’de görüldüğü gibi FTIR spektroskopisi için analiz edilemeyecek şekilde hasar görmüştür. Bu nedenle, kemiklerin FTIR spektroskopisi cihazında analizleri gerçekleştirilmemiştir.

5 günlük süre boyunca piyasa adı “çamaşır suyu” olan sodyum hipoklorit (NaClO) içerisinde bekletilen kemik numunelerinin beyaz bir renk aldığı ve yüzeylerinin hassaslaştığı gözlemlenmiştir. Aynı zamanda, kemik yüzeylerinin pürüzsüz bir dokuya sahip olduğu belirlenmiştir. Kemikte çürüme belirtileri gözlemlenmemiştir.

Tablo 2’de bu çalışmada kullanılan numuneler ve numunelere ait FT-IR spektrumları verilmiştir.

## Tartışma

FTIR spektroskopisi ve kemometrik yöntemlerin kullanıldığı bir çalışmada (Wang, 2019), insan kemikleri ile insanlara ait olmayan (domuz, keçi ve inek gibi) kemikler arasındaki spektral farklılıklar belirlenmiş ve taze kemik türleri içerdiği inorganik bileşenler (karbonatlar ve fosfatlar gibi) nedeniyle başarıyla ayırt edilebilmiştir. Ancak, hasar görmüş insan ve hayvan kemikleri arasındaki ayırımın yapılamadığı bulunmuştur. Yapılan bu çalışmada ise kemikte meydana gelen çeşitli hasarların FTIR spektroskopisi ile incelenmesi ve ayırt edilebilirliği amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, bu çalışmada 14 adet kuzu kaburga kemiği kullanılmıştır.

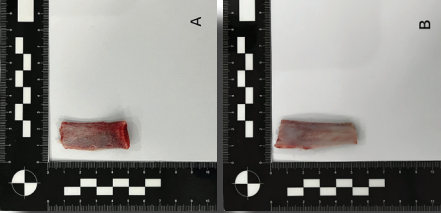
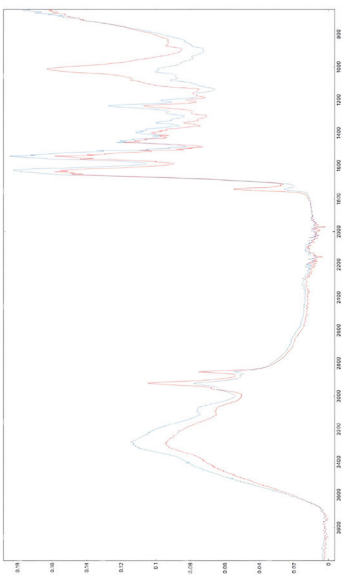
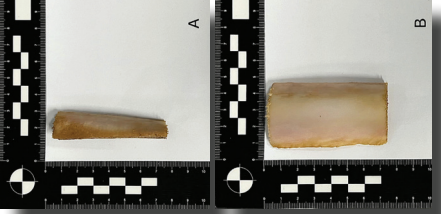
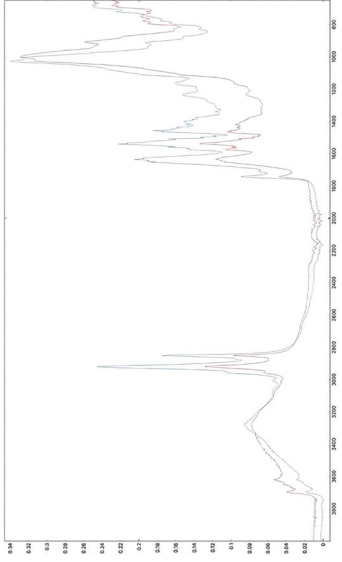
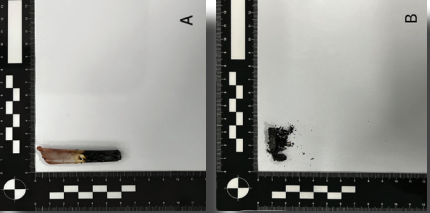
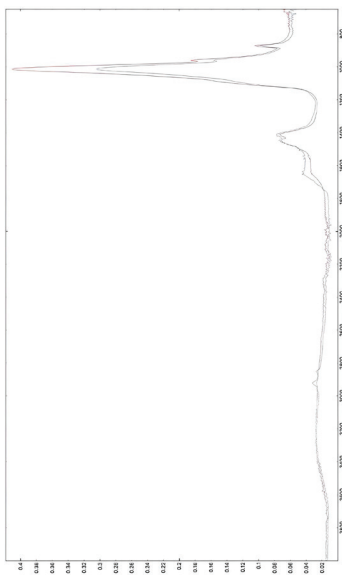
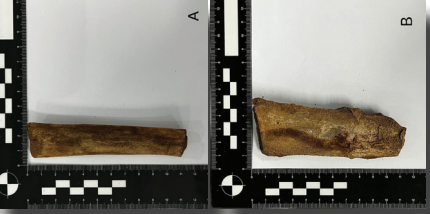
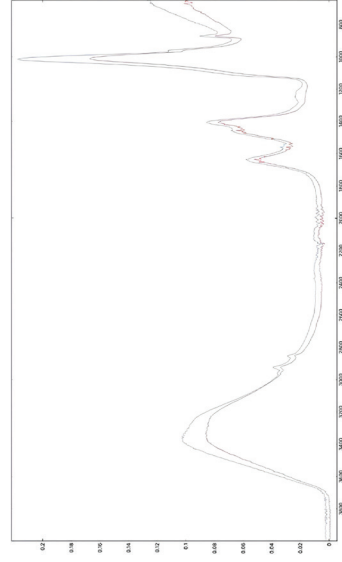
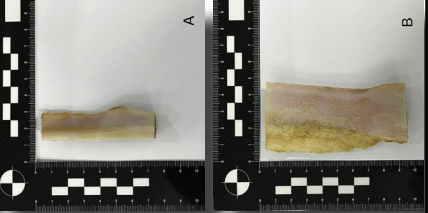
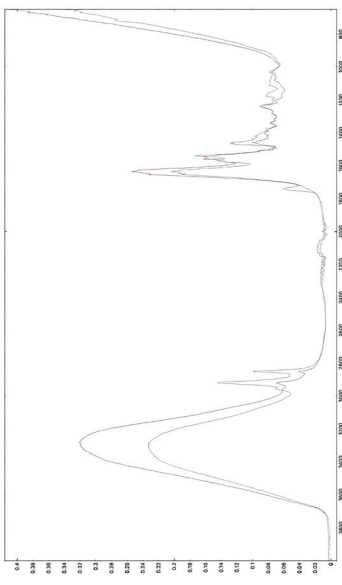
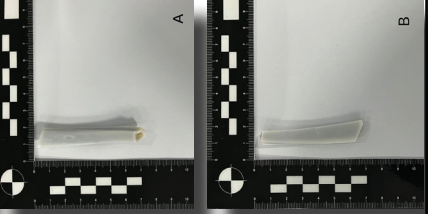
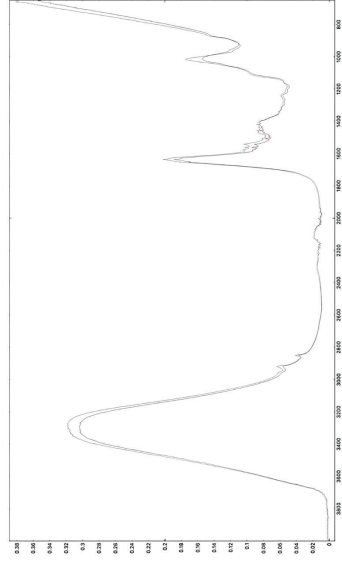
Tablo 3’te, kontrol grubu olan kemik dokusundaki temel organik ve inorganik fonksiyonel grupların absorpsiyon bantları ve/veya kimyasal bileşenlerinin aralıkları (Lopes, 2018) verilmiştir.

FTIR spektroskopisi cihazlarıyla yapılan kemik analizi çalışmalarında genellikle kemikler öğütülerek analiz edilmektedir. Ancak, kemiklerin öğütülmesi parçacık boyutu dağılımında değişikliklere neden olmaktadır (Kontopoulos, 2018). Bu çalışmada ise kemik numuneleri öğütülmeden, doğrudan kemik yüzeyi üzerinden analizler gerçekleştirilmiştir. Olay yerinden elde edilen kemik bulguları, öğütülmeden ATR-FTIR ile analiz edildiğinde, tahribatsız olması nedeniyle bu bulguların diğer yöntemlerle de analiz edilebilirliği mümkün hale gelmektedir.

Thompson ve Legan’ın çalışmalarında belirtildiği üzere farklı sıcaklıklarda koyun kemikleri ve sığır femur kemikleri yakılarak FTIR spektroskopisi cihazıyla incelendiğinde yanmış kemiklerin yanmamış kemiklerden Ca/P ve C/C oranlarında meydana gelen spektroskopik değişikliklerden dolayı ayırt edilebildiği ve yanmış kemiklerin non-invaziv FTIR spektroskopik analiz yöntemiyle tekrar analiz edilmeye uygun olarak çalışılabileceği sonucu elde edilmiştir (Thompson, 2009 ve Legan, 2020). Kontrol grubu numunesinde bulunan 3400 cm<sup>-1</sup> dalga boyundaki hidroksil (OH) grubuna ait olan piklerin, yanmış kemik numunesinin FTIR spektrumunda gözükmediği gözlemlenmiştir. Bu durum, normal şartlar altında yanmayan hidroksilin, yüksek sıcaklıklara maruz kaldığında kimyasal yapısının değişmesi ile organik bileşenlerinin ayrılarak gaz formunda uçabilmesinden kaynaklanmaktadır (Avcı, 2010). PCA testi uygulandığında yanmış kemik numuneleri kontrol grubundan ayrılmış olup ayırt ediciliğin %100 olduğu saptanmıştır.

Tatlı su ve tuzlu su gibi dört farklı ortamda koyun femurlarının bekletildiği bir çalışmanın sonuçlarına göre, suda bekletilen koyun kemiklerinde kollajen bozulmalarının meydana geldiği belirlenmiştir. Kollajen, kemik organik bileşenlerinin en önemli temsilcisidir (Guareschi, 2023). Suyun çevresel etkenlerine bağlı olarak kemiklerin içerisinde bulunan karbonat moleküllerinin çözünme eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir (Euw ve Wang, 2019). Buradaki ana fark suyun pH değeridir. Deniz suyunun pH değeri, tatlı suyun pH değerine oranla daha yüksektir. Yapılan bu çalışmada tatlı su

Tablo 2: Numune ve FT-IR Spektrumları.

Numuneler	Numune Görüntüleri	FT-IR Spektrumları	Numuneler	Numune Görüntüleri	FT-IR Spektrumları
Kontrol grubu			Tatlı suda bekletilmiş kemik		
Yanmış kemik			Toprağa gömülmüş kemik		
Tuzlu suda bekletilmiş kemik			%5'lik Sodyum Hipokloritte bekletilmiş kemik		

**Tablo 3:** Kemığın absorpsiyon bantları ve/veya kimyasal bileşenlerinin aralığı.

Bileşenler	Absorpsiyon (cm <sup>-1</sup> )
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> V <sub>2</sub> SİMETRİK BÜKÜLME	470
	480–770
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> V <sub>4</sub> ASİMETRİK BÜKÜLME	565 ve 605
	500–660
	606, 567
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> V <sub>3</sub>	960
	1035
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> V <sub>3</sub> ASİMETRİK GERİLME	1028–1100
	1100–1180
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> V <sub>1</sub> + PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> V <sub>3</sub>	900–1200
	916–1180
	900
	874
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> V <sub>2</sub>	840–892
	850–890
	875
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> V <sub>3</sub>	1415
	1400–1550
AMİD III	1210–1280
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> + AMİD II	1550
PROTEİN N–H BÜKÜLME + C–N GERİLME	1492–1590
	1546–1506
H <sub>2</sub> O + AMİD I	1585–1720
	1592–1712
	1650
PROTEİN C = O GERİLME	1590–1720
	1654
	1630–1660
AMİD I	1660
PİRİDİNOLİN KOLLAJEN ÇAPRAZ BAĞLARI	1660
AMİD I	1690
DHLNL KOLLAJEN ÇAPRAZ BAĞLARI	1690
OH	573, 632–650, 3400 ~2100, 3328, 3570

ortamında bekletilen kemik örneklerine ait 1000 cm<sup>-1</sup> dalga boyundaki karbonat iyonuna ait piklerin, kontrol grubu numunesine kıyasla düştüğü gözlemlenmiştir. Tuzlu suda bekletilen kemikler ile tatlı suda bekletilen kemiklerin FTIR spektrumları karşılaştırıldığında ise tuzlu suda bekletilen kemiklerde 1700 cm<sup>-1</sup> dalga boyundaki piklerin kaybolduğu ve 1500 cm<sup>-1</sup> dalga boyundaki piklerin absorpsiyon değerinin düştüğü belirlenmiştir. PCA testi uygulandığında ise ayırt ediciliğin %93 olduğu saptanmıştır. Bu durumun yalancı negatif veri elde edilme sebeplerinden olduğu anlaşılmıştır.

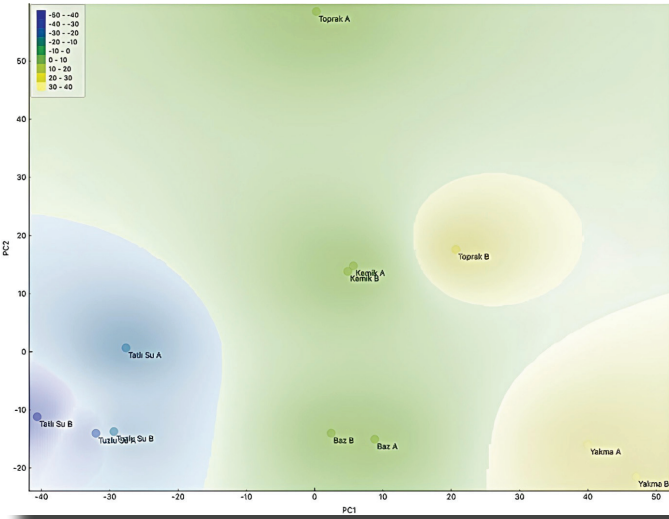
56 farklı insan cesedinden elde edilen

toplam 112 kafatası örneği ile çalışılan bir çalışmada kemikler, 76 ile 552 gün arasındaki sürelerde toprak içine gömülmüş ve açık havada bırakılmıştır. Genetik algoritma (GA) ve kısmi en küçük kareler (PLS) yani GA-PLS yöntemleri kullanılarak gömülü kemiklerin postmortem interval (PMI) değeri 50.93 günken, gömülmemiş kemiklerin PMI değeri 71.03 gün olarak tespit edilmiştir. Yapılan analiz sonuçları neticesinde ise FTIR analizi ve kemometrinin kombinasyonunun, insan kemiklerinde zamanla değişen bileşenlere dayalı olarak postmortem zaman aralığını tahmin etmek için ideal olduğunu göstermektedir (Wang, 2017). Kemik organik bileşenlerinden hidroksiapatit içerisinde bulunan hidroksil gruplarının asidik toprak koşullarında çözünerek yerini hidrojen iyonlarına bırakabildiği ve hidroksil grubunun toprağa geçebildiği gözlemlenmiştir (White ve Hannus, 2017). Bu çalışmada kontrol grubu kemik numunelerindeki 3400 cm<sup>-1</sup> dalga boyundaki absorpsiyon değerinin, toprağa gömülmüş kemik numunelerindeki FTIR spektrumlarında absorpsiyon şiddetinin değiştiği gözlemlenmiştir. Bu dalga boyundaki absorpsiyon, hidroksil grubuna aittir. Kontrol grubu numunelerine PCA testi uygulandığında ise ayırt ediciliğin %100 olduğu saptanmıştır.

Beş farklı insan dokusunun, içerisinde %5.25 NaClO ve %31.45 HCl' de bulunan 6 farklı aşındırıcı madde içinde bekletildiği bir çalışmada kemik dokusunun 20 saatten kısa bir sürede, femurun ise 23 saatin sonunda HCl içerisinde çözüldüğü görülmüştür. NaClO içinde bekletilen kemik parçalarının ise yapısal olarak 1 ay boyunca değişmeden korunduğu ancak renginin daha beyaz hale geldiği tespit edilmiştir. Sonuç olarak, Hartnett'in çalışmasında da belirtildiği gibi kullanılan diğer aşındırıcı maddeler arasında, HCl'nin en yıkıcı ajan olduğu belirlenmiştir (Hartnett, 2011). NaClO'nun FTIR spektrumunda, organik matrise (amid1-2-3) ait pikleri azalttığı gözlemlenmiştir. Bu bulgular, NaClO'nun protein yapıları üzerinde etkisi olduğunu göstermektedir (Mountouris vd., 2004). Bu çalışmada NaClO içerisinde bekletilen kemik numunelerine ait FTIR spektrumlarında, 1200 cm<sup>-1</sup> dalga boyundaki amid-3 bandı ve 1700 cm<sup>-1</sup> dalga boyundaki amid-1 pikinin absorpsiyon değerlerinin kontrol grubu kemik numunelerine kıyasla düştüğü gözlemlenmiştir. 5'er gün %5'lik HCl ve %20'lik NaClO içerisinde bekletilen kemiklerden HCl içerisinde bekleyen kemiklerin çözüldüğü,

NaClO içerisinde bekleyen kemiklerin ise beyaz renk aldıkları gözlemlenmiştir. NaClO içinde bekletilen kemiklerde, 1700-1400 cm<sup>-1</sup> dalga boyu arasındaki piklerde değişiklik olduğu ve 1300-1100 cm<sup>-1</sup> dalga boyu arasındaki piklerin kaybolduğu belirlenmiş ve PCA testi uygulandığında ayırt ediciliğin %100 olduğu saptanmıştır.

Toplamda 14 adet kemik numunesi üzerinde bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu numunelerin 12 tanesi FTIR spektroskopisi cihazıyla analiz edilmiştir. Analiz edilen kemiklerden 10'u çeşitli hasarlara maruz bırakılmış olup, her bir hasar türü için 2'ser adet kemik kullanılmıştır. PCA testi, 10 adet hasarlı kemik numunesi ile 2 adet kontrol grubu numunesine uygulanarak Şekil 2'de görüldüğü gibi gruplaşmalar tespit edilmiş ve ayırt ediciliğin %90 olduğu saptanmıştır.



Şekil 2: Kontrol grubu ile hasara maruz bırakılan kemiklerin PCA grafiği.

## Sonuç

Bu çalışmada, toplam 14 kemik numunesi, Agilent Cary 630 ATR-FT-IR cihazı kullanılarak 4000-650 cm<sup>-1</sup> orta kızılötesi frekans aralığında incelenmiştir. FTIR analizleri, olay yerlerinden toplanan kemik numunelerinin doğrudan incelenmesini sağlayan bir yöntem olarak uygulanmıştır. Bu analizlerin temel amacı, adli vakalara bilimsel bir katkı sağlamaktır. Ayrıca, kemiklerde meydana gelen tahribatın FT-IR spektroskopisi kullanılarak ayırt edilebileceği ve bu ayırt etme işleminin PCA üzerinde minimum %93 ila %100 oranında başarıyla gerçekleştirilebileceği tespit edilmiştir. PCA testi sonuçlarındaki belirsizliklerin %7'si, özellikle kemiklerdeki çürüme oranlarının farklı olması gibi çeşitli postmortem değişikliklerden kaynaklanmaktadır. Adli bilimlerde raporlama aşamasında, bu tür belirsizliklere dikkat edilebilir.

Bu durumda, daha güvenilir sonuçlar elde etmek için PLS gibi kemometrik analiz yöntemleri birlikte kullanılarak sonuçlar değerlendirilebilir.

Kontrol grubuna en yakın sonuçlar elde edilen kemik numuneleri, tatlı ve tuzlu suda bekletilmiş toplamda 4 kemik numunesidir. Bu durum, kemiklerin içerisinde yeterince çürümemiş bölgelerin bulunmasından kaynaklanabilir. En yüksek ayırt edilebilirlik oranları ise sırasıyla %100 oran ile yanmış, tuzlu suda bekletilmiş, toprak içinde bekletilmiş ve bazik ortamda bekletilmiş kemik numunelerine aittir.

Sonuç olarak, çalışmada kullanılan hasarlı kemik numuneleri, kontrol grubundan ayrılmış olup FT-IR spektrumları incelendiğinde, kemiğin absorpsiyon bantlarının yanmış kemik numuneleri dışında ortak gözlemlendiği belirtilmiştir. Bu bulgu, hasar görmüş kemiklerdeki çeşitli hasar türlerinin birbirlerinden ayırt edilebilir olduğunu ve aynı zamanda kemik dokusunun varlığının da saptanabilir olduğunu ortaya koymuştur.

Faillerin işledikleri suçları gizlemek amacıyla kundaklama, cesedi suya bırakma, gömme veya kimyasal yöntemlere başvurusu kemiklerde postmortem değişikliklere sebep olabilir. Kemiklerin morfolojik ve yapısal değişikliklerini tetikleyebilecek bu durum adli laboratuvaradaki inceleme süreçlerini etkileyebilir. Bu bağlamda ATR-FT-IR spektroskopisi, olay yerinden elde edilen kemiklerdeki hasarın adli amaçlarla incelenmesi ve postmortem değişiklikleri ayrıntılı bir şekilde incelemek için kullanılabilir.

## Kaynakça

- Avcı, Ş. (2010). Hidroksiapatitin Özelliklerine Sodyum Fosfat Esaslı İlavelerin Etkisi, [Doktora Tezi]. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Bayarı, SH., Özdemir, K., Şen, EH., vd. (2020). Application Of ATR-FTIR Spectroscopy And Chemometrics For The Discrimination Of Human Bone Remains From Different Archaeological Sites In Turkey. Spectrochimica Acta Part A: Molecular And Biomolecular Spectroscopy 237, 118-311. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2020.118311>
- Çeker, D. (2020). İnsan İskeletlerinde Travma Çeşitleri ve Özellikleri. Adli Antropoloji ve Kimliklendirme, 235-258.
- Çeker, D. (2014). Adli Antropolojide Perimortem ve Postmortem Kırıkların Ayırımı ve Travma Analizlerindeki Önemi. Antropoloji 27, 47-64. [https://doi.org/10.1501/antro\\_0000000226](https://doi.org/10.1501/antro_0000000226)
- Demir, Y., Esenbuğa, N., Bilgin, ÖC. (2016). İvesi Koyunlarının Et Kalitesini Değerlendirmede Temel Bileşenler Analizinin (PCA) Kullanılması. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 20.3, 536-541. [https://doi.org/10.1501/antro\\_0000000226](https://doi.org/10.1501/antro_0000000226)

[org/10.19113/sdufbed.78396](https://doi.org/10.19113/sdufbed.78396)

[doi.org/10.1016/j.forsciint.2017.10.033](https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2017.10.033)

Duda, RO., Hart, PE., Stork, DG. (2001). Pattern Classification, Edition Wiley Interscience.

Wang, Q., Li, W., Liu, R., et al. (2019). Human And Non-Human Bone Identification Using FTIR Spectroscopy. International Journal Of Legal Medicine 133, 269-276. <https://doi.org/10.1007/s00414-018-1822-8>

Erol, AS., Aka, PS. (2016). Antropoloji ve Odontoloji. Fundamentals Of Forensic Science, 181-210. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-374989-5.00008-9>

White, EM. Hanuus, LA. (1983). Chemical Weathering Of Bone In Archaeological Soils. American Antiquity, 48(2), 316-322. <https://doi.org/10.2307/280453>

Euw, V., Wang, Y. (2019). Bone Mineral: New Insights Into Its Chemical Composition. Scientific Reports 9 (1), 8456. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44620-6>

Guareschi, E. (2023). A Multidisciplinary, Experimental And Observational Analysis Of The Taphonomy And Diagenesis Of Terrestrial Mammalian Bone Submerged In Natural Fresh And Salt Water. Diss. Murdoch University. <https://researchportal.murdoch.edu.au/esploro/outputs/doctoral/A-multidisciplinary-experimental-and-observational-analysis/991005575369607891/filesAndLinks?index=0>



2024. Telif hakları yazar(lar)a aittir.

Bu makale Creative Commons Atıf-GayriTicari 4.0 Uluslararası (CC BY-NC 4.0) lisansının hüküm ve şartları altında yayımlanan açık erişimli bir makedir.

Hartnett, KM., Laura, C., Fulginiti., Modica, FD. (2011). The Effects Of Corrosive Substances On Human Bone, Teeth, Hair, Nails, And Soft Tissue. Journal Of Forensic Sciences 56.4, 954-959. <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2011.01752.x>

İnsal, B., İlksin, P.. (2017). Kemik Dokusunun Fizyolojisi. Etlik Veteriner Mikrobiyoloji Dergisi 28.1, 28-32. <https://doi.org/10.35864/evmd.530089>

Kontopoulos, I., Presslee, S., Penkman, K., et al. (2018). Preparation Of Bone Powder For FTIR-ATR Analysis: The Particle Size Effect. Vibrational Spectroscopy 99, 167-177. <https://doi.org/10.1016/j.vibspec.2018.09.004>

Legan, L., Leskovar, T., Cresnar, M., et al. (2020). Non-Invasive Reflection FTIR Characterization Of Archaeological Burnt Bones: Reference Database and Case Studies. Journal Of Cultural Heritage 41,13-26. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2019.07.006>

Lopes, CCA., Limiro, PHJO., Novais, VR. et al. (2018). Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) Application Chemical Characterization Of Enamel, Dentin And Bone. Applied Spectroscopy Reviews 53.9, 747-769. <https://doi.org/10.1080/05704928.2018.1431923>

Mountouris, G., Slikas, N., Eliades, G. (2004). Effect Of Sodium Hypochlorite Treatment On The Molecular Composition And Morphology Of Human Coronal Dentin. Journal of Adhesive Dentistry. p175.

Thompson, TJU., Gauthier, M., Islam, M. (2009). The Application Of A New Method Of Fourier Transform Infrared Spectroscopy To The Analysis Of Burned Bone. Journal Of Archaeological Science 36.3, 910-914. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2008.11.013>

Wang, Q., Zhang, Y., Lin, H., et al. (2017). Estimation Of The Late Postmortem Interval Using FTIR Spectroscopy And Chemometrics In Human Skeletal Remains. Forensic Science International 281, 113-120. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2017.10.033>